

#### 6.4.1.2 Diskussion

Die Versilberungsspuren auf der Oberfläche zeigen, daß diese Münze einst vollständig versilbert war. Tieferliegende Bereiche in direkter Nachbarschaft zu erhabenen (wie geprägter Kopf oder Schrift) sind vor Abnutzung durch Anfassen geschützt, besonders dort befinden sich Überreste der einstigen Versilberung. Bereits der Vergleich des Silberverteilungsbildes (Abbildung 6-68) mit dem eines gefälschten Denars schlechten Erhaltungszustandes (Abbildung 6-24a) zeigt, daß die jeweils angewandten Versilberungsmethoden unterschiedlich waren. Die Versilberungsspuren auf dem Antoninian Gordians III. wirken nicht so massiv und zusammenhängend wie die eines plattierten Stückes. Der niedrige Silbergehalt des Kernes beweist, daß die klassische, in Kapitel 4.3 beschriebene, Weißsiedetechnik hier nicht als Produktionsmethode in Frage kommt, da hierzu mindestens 15-20 Gew. % Silber im Ausgangsmaterial erforderlich gewesen wären. Die ermittelte Silberschichtdicke von ca. 1-5  $\mu\text{m}$  spricht für die in Kapitel 4.4 beschriebenen Versilberungstechniken. Sowohl von einer Silberchloridschmelze als auch von einer Silbersalzlösung ausgehend kann eine Silberschicht dieser Dicke auf einem kupferhaltigen Kern abgeschieden werden. An der Zusammensetzung der versilberten Oberfläche fallen die, im Vergleich zum Kern, erhöhten Gehalte von Zinn und Blei auf. Diese könnten, wie auch der Silbergehalt im Kernmaterial, ein Hinweis auf die von Moesta und Cope vorgeschlagene Methode sein, bei der eine Silberanreicherung in Blei (siehe ebenfalls Kapitel 4.4) die Herstellung einer oberflächlichen Versilberung ermöglichen könnte. Sicher ist allerdings, daß es sich bei dem vorliegenden Antoninian um eine Fälschung handeln muß, denn zur Herrschaftszeit Gordians III. bestanden offizielle Antoniniane noch immerhin zu ca. 50 Gew. % aus Silber.

#### 6.4.2 Antoninian des Aurelian, ca. 270-275 n. Chr. (Münze 22)

Die Münze erscheint optisch heller als der zuvor beschriebene Antoninian Gordians III., sie glänzt sogar, besonders auf der Rückseite, deutlich silbern. In der Zeit Aurelians wurde zwar das in den Jahren zuvor stark gesunkene Gewicht des offiziellen Antoninians wieder erhöht, er wurde jedoch als offiziell versilberte Münze ausgegeben. Der Anteil des nur an der Oberfläche vorhandenen Silbers am Gesamtgewicht der Münze betrug daher höchstens 5 Gew. % (siehe Kapitel 3.3.4). Es wurde erwartet, daß die Münze aufgrund ihres guten Erhaltungszustandes (im Vergleich zu dem zuvor diskutierten Stück in Kapitel 6.4.1) eine eindeutigere Bestimmung der Silberschichtdicke erlaubt. Auch die Zusammensetzungen des Kernmaterials und der silbernen Oberfläche wurden ermittelt, da sie den entscheidenden Hinweis auf die Versilberungstechnik geben können.

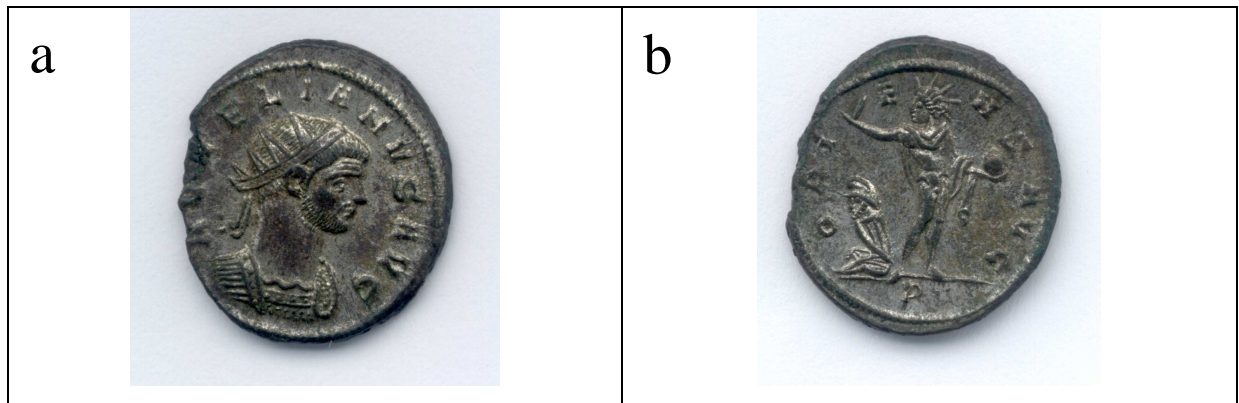


Abbildung 6-72: a) Vorderseite, b) Rückseite des untersuchten Antoninian Aurelians (Münze 22).

#### 6.4.2.1 Ergebnisse

Erste qualitative Untersuchungen per HREM/EDX bestätigten das Vorhandensein von Silber auf der Münzoberfläche, daneben wurden vor allem Blei, Kupfer und Zinn nachgewiesen. Die Verteilung des Silbers über die Oberfläche zeigt Abbildung 6-73, das Elementverteilungsbild

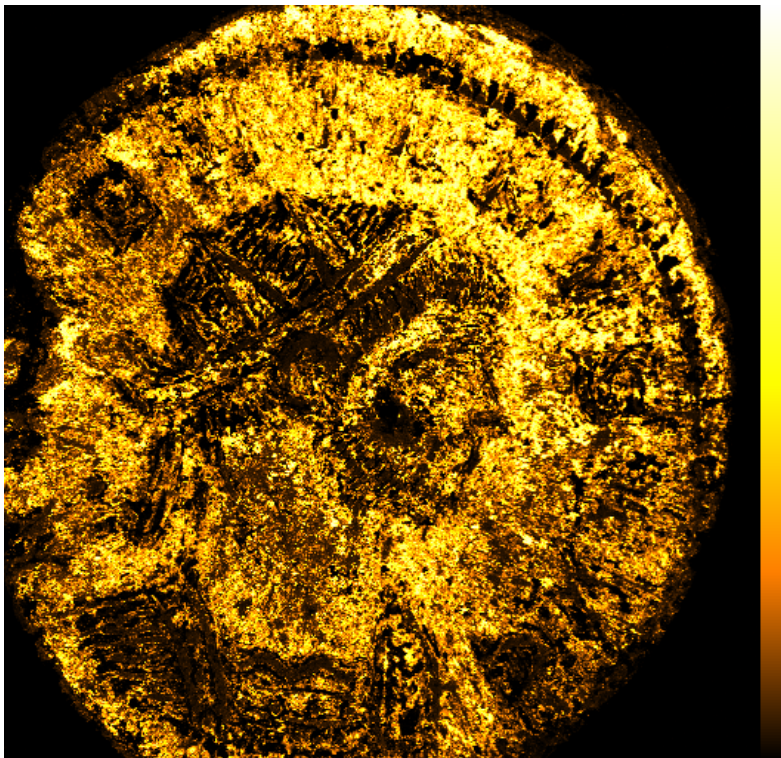
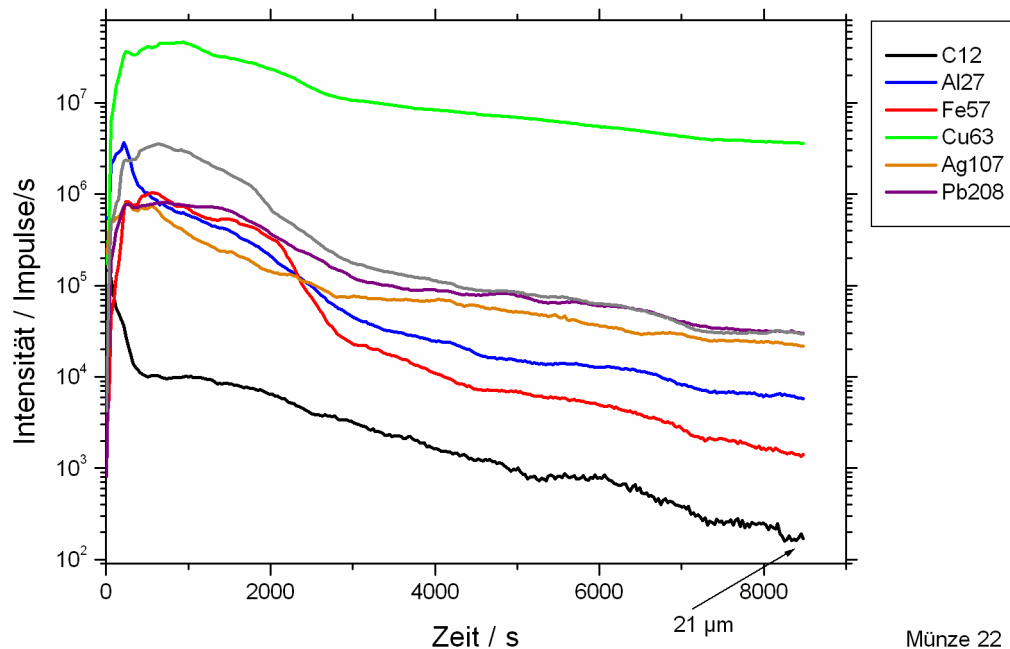


Abbildung 6-73: Silberverteilungsbild (ESMA/WDX) des Antoninians Aurelians, 512x512 Punkte, Schrittweite 36 µm, Bildkantenlänge ca. 18,5 mm.

verdeutlicht, daß auf diesem Antoninian deutlich großflächiger Silber erhalten ist als auf dem zuvor behandelten Antoninian Gordians III. (siehe Abbildung 6-68). Der Kopfbereich er-

scheint zwar etwas abgegriffen, ansonsten sind aber auf der gesamten Münze Silberspuren erhalten.



Münze 22

Abbildung 6-74: Tiefenprofil des Antoninians Aurelians, Primärionen  $O_2^+$ , Primärionenenergie 8 keV, Primärionenstrom 140 nA, Kraterkantenlänge 125 µm.

Die Schichtdickebestimmung per SIMS wurde auf der ebenfalls gut erhaltenen Rückseite durchgeführt, da der stark erhabene Kopfbereich der Vorderseite den Einbau in den SIMS-Probenhalter erschwert hätte. Das zugehörige Tiefenprofil ist in Abbildung 6-74 dargestellt. Die Intensitäten der Signale typischer Oberflächenverunreinigungen (gezeigt sind Aluminium und Kohlenstoff) begannen rasch nach Start der Messung zu fallen. Die Signale von Silber, Kupfer, Blei und Eisen dagegen stiegen rasch an und durchliefen nach ca. 700 Sekunden ein Maximum. Danach begannen auch diese Signale zu sinken. Nach ca. 3000 Sekunden war die Intensität des Silbersignals von anfänglich ca.  $7 \times 10^5$  Impulsen/s auf ca.  $7 \times 10^4$  Impulse/s abgefallen. Im weiteren Verlauf nahm die Intensität des Silbersignals zwar noch weiter ab, jedoch mit deutlich kleinerem Gefälle. Diesem charakteristischen Verlauf folgen auch die anderen Elementsignale. Ab 3000 Sekunden Meßzeit veränderte sich das Verhältnis der Signale zueinander nicht mehr in größerem Ausmaß. Die Tiefe des Meßkraters betrug nach Untersuchungsende ca. 21 µm, woraus sich eine Silberschichtdicke von ca. 7 µm ableiten läßt.

Abbildung 6-75 zeigt das nach der SIMS-Messung aufgenommene Elementverteilungsbild des Kupfers (ESMA). Der SIMS-Krater befindet sich etwas nach links versetzt unterhalb der stehenden Figur des Sol im markierten Randbereich. Die höchsten Intensitäten der charakteristischen Röntgenstrahlung des Kupfers wurden auf dem Kraterboden ermittelt.



Abbildung 6-75: Kupferverteilungsbild (ESMA/WDX) des Antoninians Aurelians nach SIMS-Untersuchung, 512x512 Punkte, Schrittweite 36  $\mu\text{m}$ , Bildkantenlänge ca. 18,5 mm.

Die quantitativen Zusammensetzungen der Oberflächenversilberung und des Kernmaterials, das am SIMS-Kraterboden zutage tritt, sind in Tabelle 6-7 dargestellt. Der Gehalt des Silbers am Kraterboden liegt, wie erwartet, deutlich unter demjenigen der geprägten Oberfläche. Bemerkenswert ist der sehr hohe Bleigehalt auf der geprägten Oberfläche, der im Vergleich zum Kern fast zehnfach höher ist. Dieser Tendenz entsprechen auch die gemessenen Zinngehalte, wenn auch nicht so stark ausgeprägt wie im Falle des Bleis. Hauptkomponente des Ausgangsmaterials mit über 90 Gew. % ist, wie auch bei dem zuvor behandelten Antoninian Gordians III. (siehe Tabelle 6-6), das Kupfer.

Münze 22	Cu	Ag	Si	Pb	Fe	Sn	Au	Hg	Sb	As
geprägte Oberfläche	12,42 ±4,62	48,42 ±12,15	1,44 ±0,73	30,37 ±8,12	0,25 ±0,09	4,42 ±1,89	0,04 ±0,03	0,04 ±0,04	0,20 ±0,08	2,39 ±0,52
Kern	91,57 ±1,27	2,74 ±0,11	0,04 ±0,02	3,81 ±1,24	0,10 ±0,02	1,25 ±0,12	0,12 ±0,12	0,05 ±0,05	0,03 ±0,02	0,28 ±0,12

Tabelle 6-7: Konzentrationen (Gew. %) der Metallkomponenten (ESMA/WDX) der untersuchten Oberflächen des Antoninians Aurelians (Münze 22), die Mittelwerte und Standardabweichungen sind für n = 10 Messungen aufgeführt, - = unterhalb der Nachweisgrenze.

#### 6.4.2.2 Diskussion

Auf dieser Münze sind, bis auf etwas abgegriffene erhabene Teile der Prägebilder, große Bereiche der einst geschlossenen Versilberung erhalten (Abbildung 6-73). Die ermittelte Dicke der Silberschicht liegt mit ca. 7 µm etwas oberhalb des Wertes von 1-5 µm, der im Falle einer Versilberung mittels geschmolzenem Silberchlorid oder aus Silberionen-haltigen Lösungen heraus zu erwarten gewesen wäre (siehe Kapitel 4.4). Der Silbergehalt am Kraterboden ähnelt mit 2,74 Gew. % dem auf dem Kraterboden des Antoninians Gordians III. ermittelten Wert von 2,57 Gew. % (siehe Tabelle 6-6). Solche Silbergehalte im Ausgangsmaterial, welches durch die SIMS-Messung zugänglich wurde, erscheinen zu hoch [3], um zufällige Verunreinigungen darzustellen. Allerdings schließt ein derart niedriger Silbergehalt auch aus, daß das klassische Weißsiedeverfahren zur Herstellung der Münze eingesetzt wurde (Kapitel 4.3). Der Bleigehalt der geprägten Oberfläche von ca. 30 Gew. % ist zwar außergewöhnlich hoch, da alle anderen untersuchten Nachfolger des Denars deutlich niedrigere Bleigehalte auf den Oberflächen aufwiesen. Trotzdem lassen in diesem Fall alle gezeigten Ergebnisse die von Moesta und Cope geschilderte Versilberungsmethode, die in Kapitel 4.4 beschrieben ist, wahrscheinlich erscheinen. Da offizielle Antoniniane Aurelians als oberflächlich versilberte Kupfermünzen bekannt sind, kann nicht beurteilt werden, ob das vorliegende Stück eine Fälschung ist.

#### 6.4.3 Antoninian des Probus, ca. 276-282 n. Chr. (Münze 23)

Diese Münze ist im Vergleich zu allen anderen untersuchten Nachfolgern des Denars das am besten erhaltene Stück und vermittelt bereits optisch die von einer Silbermünze erwartete typische Farbe und deren Glanz (Abbildung 6-76). Dennoch ist nicht zu übersehen, daß auch stellenweise dunkleres Kernmaterial zutage tritt. Trotzdem ließ die Silberschichtdickebestim-



mung per SIMS aufgrund des sehr guten Allgemeinzustands einen Wert erwarten, der für das späte dritte Jahrhundert typisch ist (ca. 1-5  $\mu\text{m}$ ). Zudem wurde anhand quantitativer Bestimmungen der Zusammensetzungen der Versilberung und des Kernmaterials überprüft, ob in diesem Fall eindeutige Hinweise zu erhalten sind, welche die Identifizierung der angewandten Versilberungstechnik ermöglichen.



Abbildung 6-76: a) Vorderseite, b) Rückseite des untersuchten Antoninian des Probus (Münze 23).

#### 6.4.3.1 Ergebnisse

Bei ersten Untersuchungen mittels HREM/EDX konnten auf der geprägten Münzoberfläche die Elemente Silber, Kupfer und Blei qualitativ nachgewiesen werden. Die per ESMA/WDX ermittelte Verteilung des Silbers auf der geprägten Vorderseite zeigt Abbildung 6-77.

Nur an vereinzelten kleinen Bereichen, die im Elementverteilungsbild schwarz erscheinen, ist von der Versilberung nichts mehr erhalten. Der Großteil der Münzoberfläche aber, selbst der erhabene Kopf- und Gewandbereich, trägt Versilberungsspuren, die im Vergleich zu denen der übrigen untersuchten Nachfolger des Denars dichter erscheinen.

Die Bestimmung der Silberschichtdicke mittels SIMS wurde im Halsbereich des geprägten Kopfes vorgenommen, da dort die Intensitäten des Silberverteilungsbildes die höchsten Werte aufwiesen. Das gemessene Tiefenprofil in Abbildung 6-78 zeigt, wie in vielen Fällen, ein rasches Absinken der typischen Oberflächenverunreinigungen (Aluminium und Kohlenstoff dargestellt).

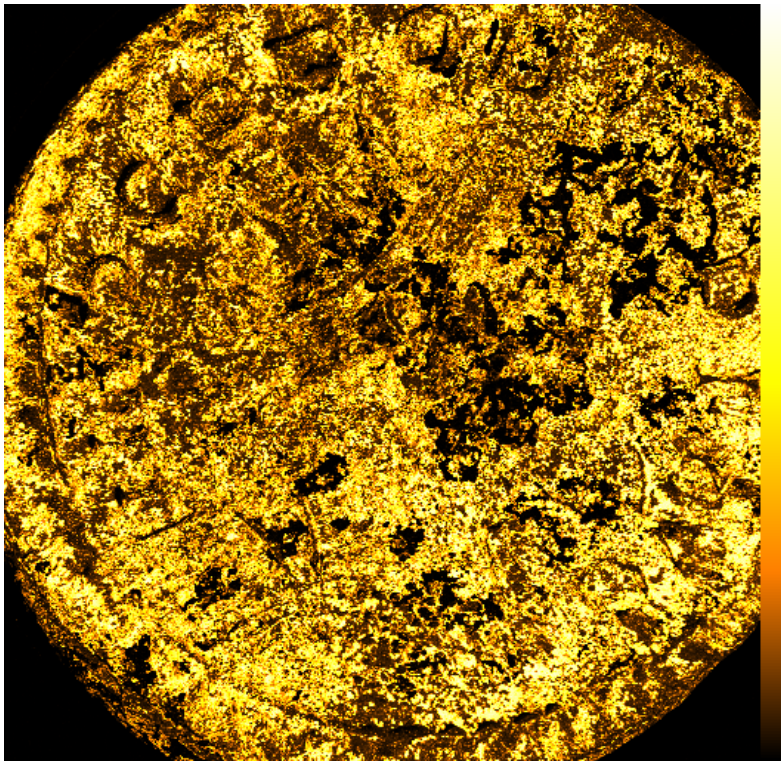


Abbildung 6-77: Silberverteilungsbild (ESMA/WDX) des Antoninian des Probus, 512x512 Punkte, Schrittweite 36  $\mu\text{m}$ , Bildkantenlänge ca. 18,5 mm.

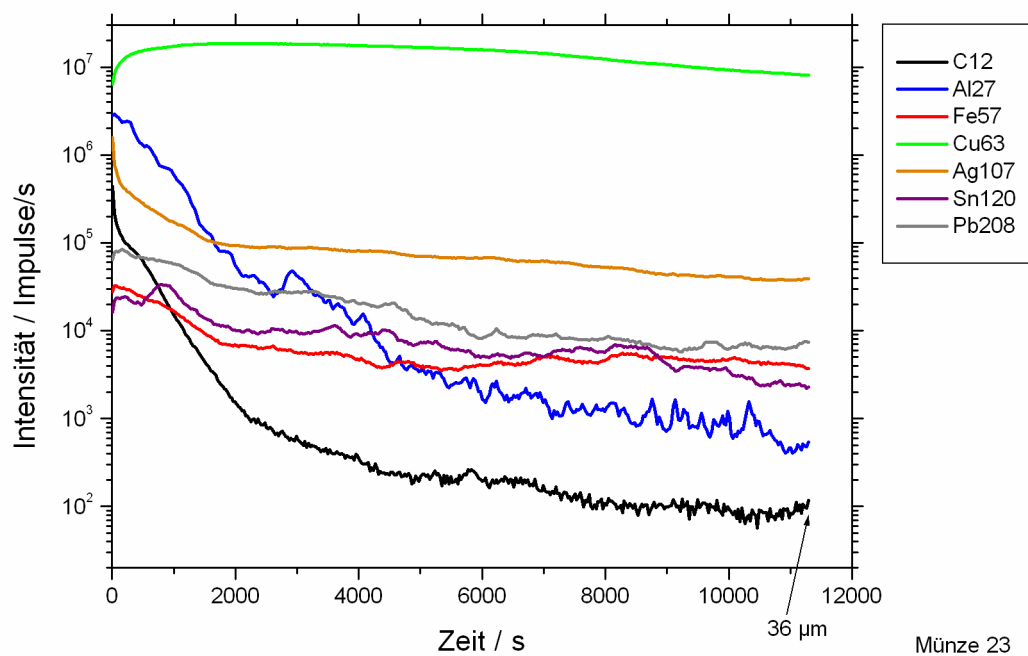


Abbildung 6-78: Tiefenprofil des Antoninian des Probus, Primärionen  $\text{O}_2^+$ , Primärionenenergie 8 keV, Primärionenstrom 140 nA, Kraterkantenlänge 125  $\mu\text{m}$ .

Die Intensität des Silbersignals fiel von anfangs ca.  $2 \times 10^6$  Impulsen/s rasch ab, erreichte nach 2000 Sekunden ca.  $1 \times 10^5$  Impulse/s und verlief von da an nur leicht fallend bis zum Meßende ohne größere Schwankungen. Auch die Intensitäten der Elementsignale des Bleis, Zinns und Eisens wiesen ab Erreichen der Meßzeit von 2000 Sekunden deutlich kleinere Gefälle auf. Die Intensität des Kupfersignals stieg bis ca. 2000 Sekunden auf  $1 \times 10^7$  Impulse/s und zeigte ab dann den gleichen, leicht fallenden Verlauf wie der des Silbersignals. Die Tiefe des Meßkraters konnte nach der SIMS-Untersuchung auf ca.  $36 \mu\text{m}$  bestimmt werden, woraus eine Silberschichtdicke von ca.  $5 \mu\text{m}$  ermittelt wurde.

Nach der SIMS-Messung wurden von Münzoberfläche und Kraterregion nochmals per ESMA/WDX Elementverteilungsbilder aufgenommen. Die Helligkeitsverteilung des Kupferverteilungsbildes der gesamten Münzoberfläche (Abbildung 6-79) weist zwar im SIMS-Meßkrater, dessen Umgebung mit einem schwarzen Quadrat markiert ist, die höchsten Intensitäten auf, aber auch auf der restlichen geprägten Oberfläche wurden hohe Intensitäten der charakteristischen Röntgenstrahlung des Kupfers gemessen. Dies erklärt den Verlauf des Kupfersignals der SIMS-Untersuchung.

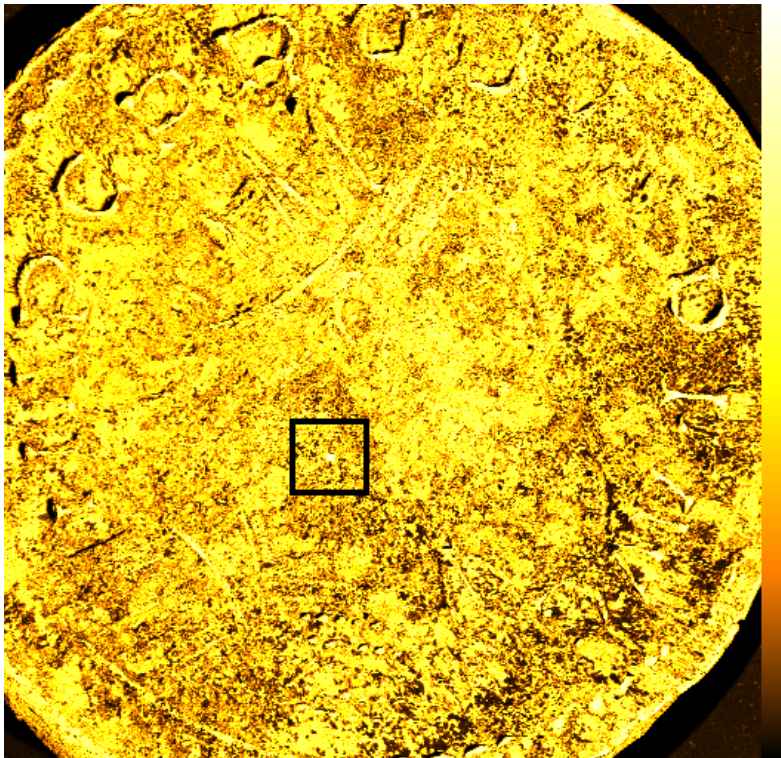


Abbildung 6-79: Kupferverteilungsbild (ESMA/WDX) des Antoninian des Probus nach SIMS-Untersuchung, 512x512 Punkte, Schrittweite  $36 \mu\text{m}$ , Bildkantenlänge ca. 18,5 mm.



Die Elementverteilungsbilder der SIMS-Kraterregion geben sehr deutlich wieder, daß die Verteilungen von Silber und Blei identisch sind (Abbildung 6-80a und c), während sich diejenigen von Kupfer und Silber wie Bild und zugehöriges Negativ zueinander verhalten (Abbildung 6-80a und b). Außerdem ist ersichtlich, daß am Boden des SIMS-Kraters punktförmige Anreicherungen des Silbers bestehen (Abbildung 6-80a) und daß an der geprägten Oberfläche der Münze auch Kupfer angereichert vorliegt (Abbildung 6-80b), wenngleich die im SIMS-Krater detektierten Intensitäten der charakteristischen Röntgenstrahlung des Kupfers noch höher lagen.

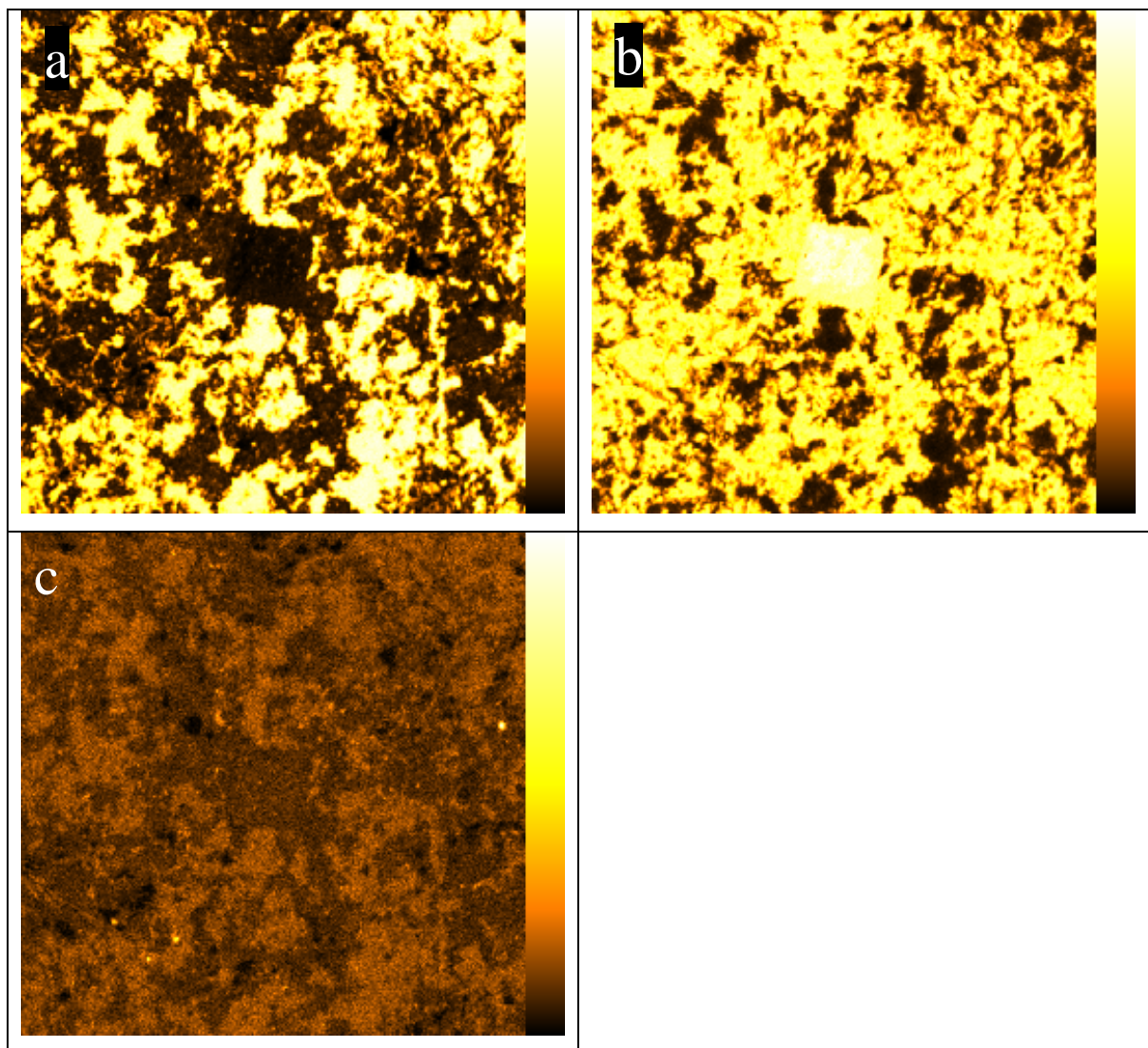


Abbildung 6-80: Elementverteilungsbilder (ESMA/WDX) von a) Silber, b) Kupfer, c) Blei des Antoninian des Probus, 256x256 Punkte, Schrittweite 5  $\mu\text{m}$ , Bildkantenlänge ca. 1,28 mm.

Die per ESMA/WDX ermittelten quantitativen Zusammensetzungen der geprägten Oberfläche und des Kraterbodens sind in Tabelle 6-8 aufgeführt. Wie erwartet ist der ermittelte Gehalt des Silbers an der geprägten Oberfläche höher als am Kraterboden, dieses ist auch bei Blei der Fall, wenn auch weniger stark ausgeprägt. Das Kernmaterial besteht überwiegend aus Kupfer, enthält aber auch ca. 4 Gew. % Silber. Auffällig gegenüber den Werten anderer Denarnachfolger ist der hohe Kupfergehalt der geprägten Oberfläche.

Münze 23	Cu	Ag	Si	Pb	Fe	Sn	Au	Hg	Sb	As
geprägte Oberfläche	19,05 ±9,04	76,00 ±9,86	0,18 ±0,18	3,70 ±1,93	0,13 ±0,04	0,16 ±0,12	0,28 ±0,26	0,17 ±0,16	0,11 ±0,08	0,21 ±0,16
Kern	94,22 ±1,25	4,02 ±0,47	0,02 ±0,01	1,22 ±0,98	0,19 ±0,04	0,06 ±0,01	0,10 ±0,10	0,04 ±0,08	0,05 ±0,04	0,09 ±0,09

Tabelle 6-8: Konzentrationen (Gew. %) der Metallkomponenten (ESMA/WDX) der untersuchten Oberflächen des Antoninian des Probus (Münze 23), die Mittelwerte und Standardabweichungen sind für n = 10 Messungen aufgeführt, - = unterhalb der Nachweisgrenze.

#### 6.4.3.2 Diskussion

Die Erscheinung eines Silberverteilungsbildes einer gesamten (geprägten) Münzoberfläche gibt in jedem Fall sichere Auskunft, ob Plattierung im jeweiligen Fall als Versilberungsmethode in Frage kommt. Der direkte Vergleich der Silberverteilung des Antoninian von Probus mit der massiver wirkenden Silberverteilung (trotz der schlechter erhaltenen Oberfläche) des gefälschten P. Satrienus denarius (Münze 6) in Abbildung 6-24a beweist, daß auch sehr gut erhaltene Denarnachfolger nicht durch Anwendung der Plattierungstechnik versilbert wurden. Die klassische Weißsiedetechnik scheidet als Herstellmethode ebenfalls aus, da die Silberkonzentration im Kernmaterial mit ca. 4 Gew. % dafür zu niedrig ist (siehe Kapitel 4.3). Die Silberschichtdicke von ca. 5 µm weist auf die in Kapitel 4.4 beschriebenen späten Versilberungsmethoden hin. Die Verteilung der Elemente auf der geprägten Oberfläche und der hohe Kupfergehalt lassen allerdings eine Versilberung mittels Silberchloridschmelze oder mit Silberionen-haltiger Lösung unwahrscheinlich erscheinen, da in einem solchen Fall niedrigere Kupferkonzentrationen zu erwarten gewesen wären. Die Oberfläche wird von kupferreichen und silberreichen Zonen gebildet, die nebeneinander vorliegen (siehe Abbildung 6-80), das zutage tretende Kupfer wurde nie von Silber bedeckt. Gerade bei dem hier untersuchten gut erhaltenen Stück läßt die Erscheinung der Silber- und Kupferverteilung (die sich, wie bereits erwähnt, wie Bild und Negativ zueinander verhalten) den Schluß zu, daß hier die von Moesta

und Cope vorgeschlagene Anreicherung des Silbers an der Oberfläche angewendet wurde. Dafür sprechen auch die erhöhten Bleikonzentrationen an der geprägten Oberfläche im Vergleich zum Kernmaterial und der dort erhöhte Silbergehalt.

## 7 Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden 35 römische Silbermünzen aus der Zeit von ca. 215 v. Chr. bis ca. 330 n. Chr. untersucht. Größtenteils handelte es sich hierbei um zeitgenössische Fälschungen, die von den Fälschern mit dem Ziel, sich zu bereichern, als vermeintlich pure Silbermünzen in Umlauf gebracht wurden. Erst bei den späten Nachfolgern des Denars (ab ca. 250 n. Chr.) wurden versilberte Münzen auch offiziell von staatlicher Seite ausgegeben und können daher meist, bis auf wenige Ausnahmen wie der untersuchte Antoninian Gordians III. (Kapitel 6.4.1), nicht mehr von inoffiziellen Münzen unterschieden werden. Der chronologische Aufbau der Arbeit bietet Einblick in die Entstehung und die Weiterentwicklung von Versilberungstechniken im Wandel der Zeit.

Die eingesetzten analytischen Methoden waren das hochauflösende Rasterelektronenmikroskop (HREM), die Elektronenstrahlmikroanalyse (ESMA) und die Sekundärionenmassenspektrometrie (SIMS). Einige gut erhaltene Münzen wiesen oberflächliche Beschädigungen auf, die in günstigen Fällen eine direkte Bestimmung von Silberschichtdicken und Kernmaterial per HREM erlaubten. Besonders dünne Silberhüllen zeitgenössischer Fälschungen und diejenigen späterer, offiziell versilberter Münzen sind oft in schlechtem Zustand und nur aufgrund ihrer Prägungen als ehemalige Silbermünze zu identifizieren. Die Verteilung des Silbers erlaubt die Charakterisierung solcher Münzen, da je nach Vorhandensein und Erscheinung die Silberreste auf der Oberfläche bereits entscheidende Hinweise auf die Herstellungstechnik der Münze geben. Elementverteilungsbilder kompletter Münzoberflächen konnten durch die Erhöhung der Schrittweite zwischen den einzelnen Meßpunkten aufgenommen werden. Sie bilden dann zwar nicht jedes Detail der Oberfläche ab, wie im Vergleich der Abbildung 6-40 mit Abbildung 6-42 des gefälschten C. Poblicius denarius serratus ersichtlich wird, geben aber ausreichend Zeugnis von vorhandenen Silber Spuren. Die Verteilungsbilder zeigen daher auch geeignete Positionen für SIMS-Messungen, die Zugriff auf Silberschichtdicken der Münzen erlauben und deren Werte ebenfalls eindeutige Indizien für die eingesetzte Versilberungsmethode sind. Die Kombination der jeweiligen Ergebnisse erlaubte die Identifizierung der eingesetzten Technik, die zur oberflächlichen Versilberung einer Münze eingesetzt wurde.

Die durchweg niedrigen Quecksilbergehalte sämtlicher geprägter Münzoberflächen legen die Vermutung nahe, daß die bei Goldmünzen bekannt gewordene Amalgammethode (siehe Kapitel 4.2) zur Fälschung von Silbermünzen nicht in großem Maßstab angewendet wurde.

Die frühesten römischen Silbermünzen wurden durch Überziehen eines Kupferkernes mit Silberfolie oder silbern erscheinender Folie anderer Zusammensetzung plattiert. Im Falle des



untersuchten gefälschten Victoriatus von ca. 215 v. Chr. bediente sich der Fälscher dabei einer Folie aus Zinn, Kupfer und Blei (siehe Kapitel 6.1.2). Daß sich diese Methode lange in Anwendung befand, beweist der späte gefälschte Denar des Septimius Severus von ca. 193 n. Chr. (siehe Kapitel 6.3.3). Die Silberdenare, die während der Republikzeit gefälscht wurden, entstanden durch diese Plattierungstechnik, wobei der immer wiederkehrende Schichtdickewert von ca. 100  $\mu\text{m}$  typisch für diese Methode ist.

Durch eingehende Untersuchungen der Serrati (Kapitel 6.2), einer gekerbten Sonderform des republikanischen Denars, konnte ihr bisher ungeklärter Herstellungsprozeß, für den einige Theorien existieren [13, 14], die aber bisher nicht analytisch überprüft wurden, aufgedeckt werden. Hierbei waren besonders gefälschte Serrati von Interesse, da ihre Herstellung besonders hohen Aufwand und Geschick verlangte. Zum direkten Vergleich lagen in drei Fällen zu den Fälschungen auch die entsprechenden puren Silbermünzen vor. Fälschungen der Serrati wurden ebenfalls durch Plattieren eines Kupferkernes mittels silberner Folie vorbereitet (siehe Kapitel 6.3.1.2). Nach Fertigstellung des Rohlings wurden jedoch wie auch bei den puren offiziellen Serrati mit einem kleinen Meißel (auch Punze genannt) vom Rand her Kerben in den Rohling eingeschlagen. Dabei entstanden charakteristische Arbeitsspuren, die in die Kerben hineinweisen und die bei gefälschten und offiziellen Münzen gleichermaßen vorhanden sind (siehe Kapitel 6.3.1.3). Die Besonderheit der gefälschten Serrati ist dabei die Tatsache, daß die Versilberung beim Schlagen der Kerben sehr dünn (ca. 5-10  $\mu\text{m}$ ) aber nicht aufgerissen wurde. Beim anschließenden Prägen des Rohlings, der zur besseren Verformbarkeit erhitzt wurde, überlappte Silber durch den Prägedruck von der entstehenden Münzoberfläche in die Kerben hinein. Diese Erscheinung kann unterschiedlich ausgeprägt sein, da sie von der Temperatur des Rohlings und der Kraft des Prägedrucks abhängt. Die unterschiedlichen Formen und Tiefen der Kerben zeugen von hastig durchgeführter Handarbeit, die keine Verschönerung erzeugen sollte, sondern die Silbermünzen fälschungssicher machen sollte. Die Römer erwarteten, daß bei der Kerbung im Fall gefälschter Stücke der unter der Silberhülle liegende Kern sichtbar würde. Als entdeckt wurde, daß dies ausbleibt, die versuchte Fälschungssicherung also nicht funktionierte, wurde die Methode wieder abgeschafft und kam bei den fortan geprägten römischen Münzen niemals wieder zum Einsatz.

Durch die fortschreitende Verknappung des Rohstoffes Silber entwickelten die Römer im Lauf der Zeit Versilberungstechniken, die zu immer dünneren Silberschichten auf den Münzoberflächen führten (siehe Kapitel 4.4). Die Silberschichtdicken der untersuchten Denarnachfolger erreichten nur noch Werte zwischen ca. 1 und 7  $\mu\text{m}$  (siehe Kapitel 6.4). In den gezeigten Fällen wurden die quantitativen Zusammensetzungen der geprägten Münzoberflächen und

diejenigen des zur Münzherstellung vorgelegten Ausgangsmaterials, welches am Boden der SIMS-Krater zum Vorschein kam, ermittelt. Die niedrigen Silbergehalte des Ausgangsmaterials zwischen ca. 2,5 Gew. % und ca. 4 Gew. % beweisen, daß die in der Literatur als Weißsieden beschriebene Versilberungsmethode in keinem der untersuchten Fälle angewendet worden war, da sie einen Silbergehalt von mindestens 15-20 Gew. % erforderte (siehe Kapitel 4.3). Da die auf den Kraterböden ermittelten Silbergehalte jedoch zu hoch sind, um zufällige Verunreinigungen darzustellen, und die geprägten Münzoberflächen zum Teil sehr hohe Bleigehalte aufweisen, erscheint eine von Moesta [3] und Cope [4] beschriebene späte Versilberungsmethode, für die bislang keine Beweise vorlagen, wahrscheinlich. Hierbei wurde im Ausgangsmaterial überwiegend Kupfer, ca. 5-10 Gew. % Blei und ein Silbergehalt von nur 2-5 Gew. % vorgelegt. Im Anschluß wurde das Silber an der Oberfläche angereichert (siehe Kapitel 4.4). Obwohl alle Ergebnisse der untersuchten Fälle für die Anwendung dieser Methode sprechen, kann nicht völlig ausgeschlossen werden, daß späte Versilberungen auch mittels Silberchloridschmelzen oder aus Silberionen-haltigen Lösungen hergestellt wurden. Erst die weitere Untersuchung möglichst vieler spätrömischer Silbermünzen könnte Gewißheit über die breite Anwendung der systematischen Silberanreicherung mittels Blei im Münzmaterial geben. Keine Anzeichen gab es für die ebenfalls von Moesta vorgeschlagene Methode der silbrigen Färbung von Kupfer durch Arsenzugabe (Kapitel 4.4), da die ermittelten Arsengehalte hierfür in allen Fällen zu niedrig liegen.

Aufgrund der hohen Anzahl vorgeschlagener möglicher Versilberungsmethoden (siehe Kapitel 4) besonders der Nachfolger des Denars sind weitere umfangreiche Untersuchungen größerer Stückzahlen erforderlich, will man den Kreis tatsächlich angewandter Techniken weiter einengen. Zum heutigen Zeitpunkt ist die Wahrscheinlichkeit formulierbar, die für die Anwendung einer Technik besteht, aber man kann bisher keine der beschriebenen Methoden völlig ausschließen. Besonders wertvoll für zukünftige Untersuchungen wird die beschriebene Kombination aus SIMS-Tiefenprofilen und quantitativen ESMA-Bestimmungen sein, die sowohl das vorgelegte Ausgangsmaterial als auch die darauf erzeugte Silberschicht und deren Dicke charakterisiert und die damit Zugriff auf die wichtigsten Indizien zur Identifizierung der Versilberungsmethode bietet.

## 8 Literaturverzeichnis

- [1] Hollstein, W. (Hrsg.), *Metallanalytische Untersuchungen an Münzen der Römischen Republik*, Berliner Numismatische Forschungen, Band 6, Gebr. Mann Verlag, Berlin, 2000.
- [2] Feil, D., *Überblick über Wert- und Gewichtsverhältnisse kaiserzeitlicher Münzen*, Institut für klassische Archäologie, Universität Innsbruck,  
<http://homepage.uibk.ac.at/homepage/c614/c61404/KAISER/k410-aaa.html>,  
19.01.2005.
- [3] Moesta, H., Franke, P. R., *Antike Metallurgie und Münzprägung*, Birkhäuser Verlag, Basel, Boston, Berlin, 1995.
- [4] Cope, L. H., *Surface-silvered Ancient Coins*, in: *Methods of Chemical and Metallurgical Investigations of Ancient Coinage*; Hall, E. T. und Metcalf, D. M. (Hrsg.), The Royal Numismatic Society, Special Publication No. 8, London, S. 261-278, 1972.
- [5] La Niece, S., *Metallography in Numismatics*, in: *Metallurgy in Numismatics Vol. 4*, Oddy, A., Cowell, M., (Hrsg.), Royal Numismatic Society, Special Publication No. 30, S. 114-132, London, 1998.
- [6] Anheuser, K., *Silver-Plated-on-Iron Roman Coins*, in: *Metallurgy in Numismatics Volume 4*, Oddy, A., Cowell, M., (Hrsg.), Royal Numismatic Society, Special Publication No. 30, S. 134-146, London, 1998.
- [7] Campbell, W., *Greek and Roman Plated Coins*, Numismatic Notes and Monographs No. 57, The American Numismatic Society, New York, 1933.
- [8] Humphrey, C., Sutherland V., *Coin, Introduction of the denarius*, Encyclopaedia Britannica. Ultimate Reference Suite DVD, Encyclopaedia Britannica Inc., Chicago, 2003.
- [9] Irmischer, J. (Hrsg.), *Münzprägung*, Lexikon der Antike, Digitale Bibliothek Band 18, 2. Ausgabe, Directmedia, Berlin, 2000.
- [10] Anumis Münzen Lexikon, Stichworte *Serrati, Quadrigatus, Victoriatus*,  
[www.anumis.de](http://www.anumis.de), 07.03.2003.
- [11] Universität Osnabrück, *Die Geschichte des römischen Geldes zur Zeit der Republik*,  
<http://www.geschichte.uni-osnabrueck.de/projekt/7/7b.html>, 09.02.2005.
- [12] Tacitus, P. C., *De origine et situ Germanorum liber*, 98 n. Chr.
- [13] Bahrfeldt, M., *Antike Münztechnik*, Berliner Münzblätter, Neue Folgen XXV, S. 433-448, 1904.
- [14] Crawford, M. H., *Roman Republican Coinage II.*, Cambridge University Press, Cambridge, 1974.

- [15] Harlan, M., *Roman Republican Moneyers and their coins*, Seaby, London, 1995.
- [16] Meyers großes Universal-Lexikon, Stichworte *Kupfer, Silber, Gold*, Meyers Lexikon Verlag, Mannheim, Wien, Zürich, 1983.
- [17] Holleman, A. F., Wiberg, E., *Lehrbuch der Anorganischen Chemie*, 91.-100. Auflage, de Gruyter, Berlin, 1985.
- [18] Volke, K., *Wider Fälscher und Betrüger: Zu den Anfängen der Analytischen Chemie*, Chemie in unserer Zeit **38**, S. 268-275, 2004.
- [19] Österreichische Nationalbank, *Geldwesen in der Antike*, Geldmuseum und Geschichte, [http://www.oenb.at/de/ueber\\_die\\_oenb/geldmuseum/allg\\_geldgeschichte/antike/geldwesen\\_in\\_der\\_antike.jsp](http://www.oenb.at/de/ueber_die_oenb/geldmuseum/allg_geldgeschichte/antike/geldwesen_in_der_antike.jsp), 04.02.2005.
- [20] Mommsen, T., *Römische Geschichte*, Band I, Projekt Gutenberg, EText No. 3062, <http://www.gutenberg.org/etext/3062>, 04.02.2005.
- [21] Technische Universität Berlin, *Wirtschaftsgeographie des antiken Mittelmeerraums im Überblick*, <http://www.tu-berlin.de/fb1/AGiW/Auditorium/AntWiSys/PII.htm>, 04.02.2005
- [22] Crawford, M. H., *Roman Republican Coinage I.*, Cambridge University Press, Cambridge, 1974.
- [23] Walker, D. R., *The Silver Contents of the Roman Republican Coinage*, in: Metallurgy in Numismatics Vol. I, The Royal Numismatic Society, Special Publication No. 13, S. 55, London, 1980.
- [24] Peter, M., *Eine Werkstatt zur Herstellung von subaeraten Denaren in Augusta Raurica*, Studien zu antiken Fundmünzen der Antike Band 7, Gebr. Mann Verlag, Berlin, 1990.
- [25] Plinius, d. Ä., *Historia Naturalis*, Buch 33, 77 n. Chr.
- [26] Reiff, F., Bartels, M., Gastel, M., Ortner, H. M., *Investigation of contemporary gilded forgeries of ancient coins*, Fresenius J. Anal. Chem. **371**, S. 1146, 2001.
- [27] La Niece, S., *Technology of Silver-Plated Coin Forgeries*, in: Metallurgy in Numismatics Vol. 3, Archibald, M. M., Cowell, M. R. (Hrsg.), The Royal Numismatic Society, Special Publication No. 24, S. 227-236, London, 1993.
- [28] Darmstaedter, E., *Subaerate Münzen und ihre Herstellung*, Mitteilungen der Bayerischen Numismatischen Gesellschaft XLVII, S. 27, 1929.
- [29] Atkins, P. W., *Physikalische Chemie*, VCH-Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, 1990.
- [30] Kopitzki, K., *Einführung in die Festkörperphysik*, B. G. Teubner Verlag, Stuttgart, 1989.
- [31] ASM International, *Binary Alloy Phase Diagrams*, Second Edition, CD-ROM, Materials Park, OH, USA, 1996.



- [32] Kluckner, M., Brandl, O., Weinbruch, S., Stadermann, F. J., Ortner, H. M., *A Method to Correct Defocused Element Distribution Maps in Electron Probe Microanalysis*, *Mikrochim. Acta* **125**, S. 229-234, 1997.
- [33] Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Echlin, P., Fiori, C., Joy, D. C., Romig, A. D., Lyman, C. E., Lifshin, E., *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*, 2. Auflage, Plenum Press, New York, 1994.
- [34] Benninghoven, A., Rüdenauer F. G., Werner H. W., *Secondary Ion Mass Spectrometry*, John Wiley & Sons, New York, 1986.
- [35] Grasserbauer, M., *Sekundärionen-Massenspektrometrie*, *Chemie in unserer Zeit* **5**, S. 222-232, VCH-Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, 1994.
- [36] Molzen, J., Schaumann, B., Goldschmiede, Ladenburg, 2004, persönliche Auskunft.

Gunther Kraft

Rimbach, 27.06.2005

Gunther Kraft  
Giselherstr.14  
64668 Rimbach

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre hiermit an Eides Statt, daß ich die vorliegende Dissertation selbständig und nur mit den angegebenen Hilfsmitteln ausgeführt habe.

.....

Gunther Kraft

## **Lebenslauf**

Gunther Kraft

geboren 02.04.1969 in Schwäbisch-Hall

deutsche Staatsbürgerschaft

## **Ausbildung**

August 1975 bis Juni 1979

Grundschule, Rimbach/Odw.

August 1979 bis Juni 1988

Martin-Luther Schule (Gymnasium), Rimbach/Odw.

Juni 1988

Abitur

April 1990 bis Juni 2002

Studium der Chemie, Technische Universität Darmstadt

Juni 2002

Abschluß der mündlichen Diplomprüfungen

Juni 2002 bis Oktober 2002

Diplomarbeit im Fachbereich Chemie,

Fachgebiet Chemische Analytik im

Fachbereich Material- und Geowissenschaften

der Technischen Universität Darmstadt

November 2002 bis Juli 2005

Promotion im Fachbereich Material- und

Geowissenschaften, Fachgebiet Chemische

Analytik der Technischen Universität Darmstadt